

# **TUGAS AKHIR**

## **STUDI KAPASITAS CABUT PONDASI JANGKAR TIPE BINTANG PADA TANAH LEMPUNG DENGAN METODE NUMERIK**



**DISUSUN OLEH :**

**BRYAN GLENN MALAIHOLLO**

**D111 08 327**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2015**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala berkah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul ***“STUDI KAPASITAS CABUT PONDASI JANGKAR TIPE BINTANG PADA TANAH LEMPUNG DENGAN METODE NUMERIK”***, sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Eco Material Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin.

Saya menyadari sepenuhnya bahwa selesainya tugas akhir ini berkat bantuan dari berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati, saya juga ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ayah dan ibu tercinta atas pengorbanan selama ini dan doa yang tulus kepada saya, sehingga sampai saat ini saya masih mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak DR. Ing Ir. Wahyu H. Piarah, MS, ME., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Dr. Ir. Muh. Arsyad Thaha, MT selaku ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Ir. Abd. Rahman Djamaluddin, M.T selaku dosen pembimbing I, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. Bapak Ir. H. Ahmad Bakri Muhiddin, MSc.Ph.D selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada saya.
6. Seluruh dosen, staf dan karyawan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

7. Bapak Sudirman Sitang, selaku staf Laboratorium Eco Material Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan dan pengarahan selama pelaksanaan penelitian di Laboratorium.
8. Kakanda Wa Ode Sumartini, ST dan saudara Nur Samdani atas kerjasama, bimbingan dan pengarahan sebagai tim dalam pelaksanaan penelitian ini.
9. Penulis juga menghaturkan terima kasih kepada teman-teman angkatan 2008 yang telah banyak membantu selama pelaksanaan penelitian di laboratorium.
10. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya tercinta yang telah menjadi sumber semangat dan inspirasi tanpa batas.

Saya menyadari bahwa tulisan ini tidak luput dari kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kepada para pembaca, kiranya dapat memberikan sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga TUHAN YESUS KRISTUS melimpahkan Rahmat dan Berkah-Nya kepada kita, dan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Makassar, Agustus 2015

**Penyusun**

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	vi
 <b>BAB. I     PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang Masalah .....	I - 1
1.2. Rumusan Masalah .....	I - 3
1.3. Maksud dan Tujuan .....	I - 3
1.4. Batasan Masalah .....	I - 3
1.5. Sistematika Penulisan .....	I - 4
 <b>BAB. II    TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Karakteristik Tanah .....	II - 1
2.2. Tipe Jangkar Tanah .....	II - 1
2.3. Parameter Tanah .....	II - 3
2.4. Hasil Penelitian Secara Eksperimen .....	II - 4
2.5. Kapasitas Cabut Batas ( <i>ultimate pull-out capacity</i> ) .....	II - 6
2.5.1 Menentukan kapasitas cabut batas jangkar secara teoritis .....	II - 6
2.5.2 Menentukan kapasitas cabut batas jangkar secara Grafis .....	II - 7
2.6. Model Elastoplastis .....	II - 9
2.7. Program FLAC.....	II - 10
2.7.1. Pengenalan Program FLAC.....	II - 10
2.7.2. Tentang Aplikasi .....	II - 12

2.7.3. FISH .....	II - 14
-------------------	---------

### **BAB. III METODOLOGI DAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

3.1. Jenis Penelitian .....	III - 1
3.2. Alat dan Bahan .....	III - 1
3.3. Model Struktur Jangkar .....	III - 1
3.4. Data – Data Struktur .....	III - 3
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	III - 4
3.6. Analisis Kapasitas Cabut Pondasi Jangkar Dengan Menggunakan Program FLAC3D .....	III - 5
3.7. Validasi Hasil Analisis Kapasitas Cabut Pondasi Jangkar Dengan Menggunakan Program FLAC3D .....	III - 9

### **BAB. IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Hubungan Antara Kapasitas Cabut dengan Perpindahan Jangkar Pada Setiap Kedalaman.....	IV - 1
4.2. Hasil Uji Tes Kapasitas Cabut Pada Setiap Kedalaman..	IV - 5
4.3. Hubungan Perubahan Diameter Equivalent Terhadap Kapasitas Cabut Ultimate .....	IV - 7
4.4. Kapasitas Cabut Batas Jangkar Tiap Kedalaman .....	IV - 7
4.5. Hasil Validasi Analisis Kapasitas Cabut Pada Tiap Kedalaman .....	IV - 8

### **BAB. V PENUTUP**

5.1. Kesimpulan.....	V - 1
5.2. Saran .....	V - 1

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang / Singkatan	Satuan	Arti / Keterangan
A	cm <sup>2</sup>	Luas
C	Pa	Kohesi tanah
$F_q, F_c, F_\gamma$		Faktor <i>breakout</i> bergantung pada rasio kedalaman penanaman jangkar dan sudut geser
G	Pa	Shear Modulus
$\gamma$	gr/cm <sup>3</sup>	Berat volume
H	cm	Kedalaman penanaman jangkar
$\Lambda$		Faktor koreksi
$N_c$		Faktor daya dukung akibat kohesi
$N_{co}$		Faktor kapasitas jangkar pada tanah tanpa berat
$N_{c\gamma}$		Faktor kapasitas jangkar pada tanah dengan berat
$q$	Pa	Kuat geser tanah
Vel	step/m	<i>Velocity</i> , kecepatan tarik
K	Pa	Bulk Modulus
E	Pa	Young Modulus

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia yang dikenal sebagai salah satu negara dengan garis pantai terpanjang di dunia dengan panjang mencapai lebih dari 95.181 kilometer (km). Aktivitas pemanfaatan sumber daya daerah pantai dan lepas pantai menjadi hal yang sering dijumpai seperti aktifitas transportasi, perikanan, sumber pembangkit listrik, pertambangan dan lain-lain. Dalam pemanfaatan sumber daya pantai dan lepas pantai tentu memerlukan bangunan-bangunan baik yang bersifat sementara maupun permanen seperti bagang, pemecah gelombang terapung (*floating breakwater*), menara transmisi, *mooring dolphin* dan sebagainya.

Kestabilan bangunan di daerah dataran maupun lepas pantai merupakan hal yang harus diperhatikan, khususnya dalam menahan gaya angkat (*uplift*) akibat gelombang, angin dan arus. Tentu dalam menahan gaya cabut diperlukan struktur penahan yang biasa disebut dengan penjangkaran.

Struktur yang menggunakan jangkar telah banyak dikembangkan untuk berbagai keperluan seperti pada perkuatan lereng, dinding penahan tanah (turap), stabilitas terowongan, pondasi menara transmisi untuk menahan gaya cabut, guling dan sebagainya. Terdapat banyak tipe jangkar yang telah dikembangkan untuk berbagai keperluan tergantung kepada besar dan tipe beban, tipe struktur, dan kondisi lapisan tanah setempat dan sebagainya. Penelitian tentang penggunaan jangkar telah banyak dilakukan sebelumnya.

Perilaku dari jangkar di lapangan terindikasi bahwa mekanisme keruntuhan dan kapasitas dukung jangkar ditentukan oleh banyak factor. Kebanyakan penelitian menggunakan model jangkar yang massif berbentuk pelat dengan berbagai bentuk (lingkaran, persegi) dengan variasi dimensi, kedalaman dan tipe bahan yang diberikan.

Pengembangan bentuk elemen jangkar untuk mendapatkan kapasitas dukung yang cukup memadai perlu dikembangkan. Khusus untuk penggunaan jangkar pada tanah kohesif (*cohesive soil*) yang memiliki ketebalan yang besar, memungkinkan untuk dilakukan inovasi dengan menggunakan elemen jangkar tipe bintang (*stars anchor*).

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pengujian pull out jangkar tipe bintang dengan berbagai bentuk dan kedalaman. Dengan menggunakan pelat jangkar lingkaran sebagai acuan dasar telah diperoleh bentuk pola keruntuhan tanah dan nilai kapasitas cabut jangkar. Sebagai nilai validasi terhadap hasil yang diperoleh dari penelitian berupa eksperimen yang telah dilakukan, akan dilakukan analisis yang sama pada penelitian pelat jangkar secara numeric yaitu dengan menggunakan program computer.

Berdasarkan alasan tersebut maka pada penelitian ini akan didesain dan dibangun model jangkar tipe bintang sekaligus mengkaji kinerja jangkar yang dibangun terutama dalam hal kapasitas cabut jangkar yang berbeda bentuk, ukuran dan kedalaman pembedaan jangkar tipe bintang yang ditanamkan dalam tanah kohesif terkompaksi dengan judul:

***“Studi Kapasitas Cabut Pondasi Jangkar Tipe Bintang Pada Tanah Lempung Dengan Metode Numerik”.***



## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan ditinjau adalah :

Bagaimana kapasitas cabut pondasi jangkar tipe bintang dan lingkaran dengan perbedaan kedalaman dengan menggunakan program FLAC3D?

## **1.3 Maksud dan Tujuan**

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kapasitas cabut pondasi jangkar tipe bintang yang ditanam pada tanah kohesif terkompaksi, yang merupakan pengembangan dari jangkar berbentuk lingkaran dengan melakukan variasi pelat jangkar menyerupai bintang dengan jumlah elemen, diameter equivalent, dan kedalaman penanaman yang bervariasi.

Adapun tujuan studi ini yaitu :

Mendapatkan hasil analisis kapasitas cabut pondasi jangkar tipe bintang dan lingkaran pada tanah lempung akibat dari perlakuan tarik pada jangkar.

## **1.4 Batasan Masalah**

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu batasan dalam penulisan agar pembahasan tidak meluas ruang lingkupnya sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai dan dipahami.

Adapun ruang lingkup penulisan yang dijadikan sebagai batasan dalam penulisan adalah :

Desain dan analisis struktur menggunakan bantuan program FLAC3D version 3.0.

## **1.5 Sistematika Penyusunan**

Sistematika penyusunan Tugas Akhir adalah sebagai berikut :

- **BAB I : PENDAHULUAN**

Pendahuluan berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan studi, pembatasan masalah, serta sistematika penyusunan Tugas Akhir

- **BAB II : STUDI PUSTAKA**

Bab ini berisi mengenai tinjauan umum, teori dasar dan literatur yang relevan dengan pemeriksaan karakteristik tanah serta pengujian jangkar tipe bintang.

- **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini menguraikan tentang lokasi penelitian dan metode-metode yang dilakukan mulai dari pemeriksaan karakteristik sampai pengujian kapasitas cabut.

- **BAB IV : ANALISA DATA**

Bab ini merupakan inti dari pembahasan masalah yang akan menyajikan analisis hasil pemeriksaan dan pengujian serta memberikan gambaran mengenai kondisi saat penelitian berlangsung.

- **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Merupakan penutup yang berisi kesimpulan dari hasil dan pembahasan serta memberikan saran-saran sehubungan dengan penelitian yang telah dilakukan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Tanah**

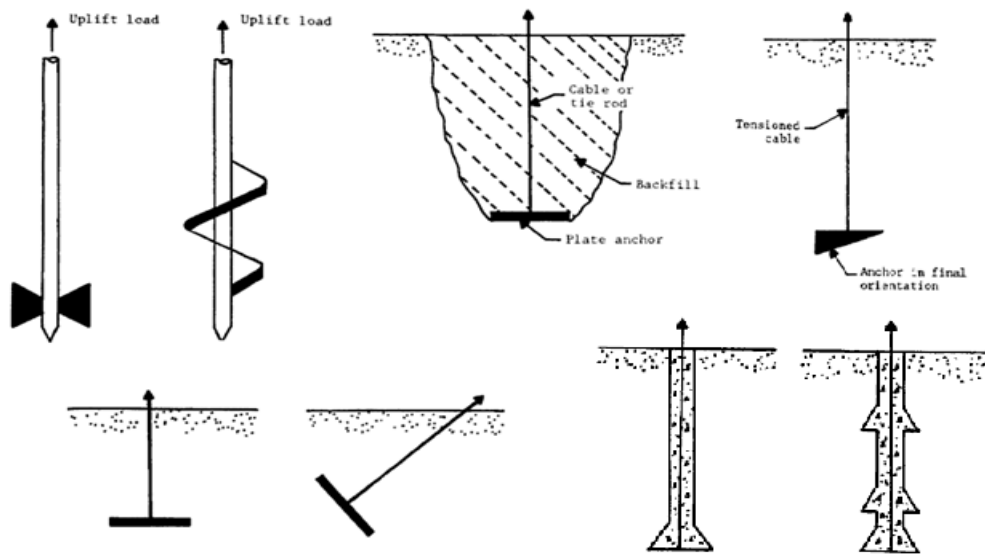
Tanah, di alam terdiri dari campuran butiran- butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran- butiran dengan mudah dipisah-pisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Tanah berasal dari proses pelapukan batuan, yang prosesnya dapat secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah, kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut.

Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya, kemudian dipakai sebagai nama tambahan dibelakang material unsur utama. Sebagai contoh, pasir berlempung adalah pasir yang mengandung lempung, dengan material utama pasir: lempung berlanau adalah lempung yang mengandung lanau, dengan material utamanya adalah lempung dan seterusnya.

#### **2.2 Tipe Jangkar Tanah**

Jangkar tanah adalah merupakan suatu jenis pondasi yang cukup tipis/kecil yang didesain dan dikonstruksi khusus untuk menahan gaya cabut/angkat atau menahan gaya guling dari berbagai struktur. Variasi dari berbagai macam jangkar digunakan dalam bangunan sipil seperti jangkar tanah yang dikombinasikan dengan grouting, helical

system, system pelate, Soil Hook System (SHS), tiang pancang, drag anchor dan sebagainya. Pada umumnya, jangkar tanah digunakan untuk menyalurkan gaya dari struktur kedalam tanah. Gambar 2.1 memperlihatkan tipe-tipe dari jangkar tanah yang lazim digunakan dalam praktek.



Gambar 2.1 Tipe-tipe jangkar tanah

Uji laboratorium pelat jangkar dengan media tanah lempung dengan variasi konsistensi telah dilakukan oleh Mayerhof dan Adams (1968), dan juga Das (1978). Hampir semua investigasi tentang kapasitas uplift dari pelat jangkar diperoleh dari test dengan tegangan yang dikontrol atau regangan yang dikontrol dengan kecepatan pembebanan yang tetap. Pada umumnya tes dilakukan pada pelat jangkar berbentuk lingkaran, bujur sangkar, dan persegi empat.

Mayerhof dan Adams (1968) memberi catatan tentang teori yang berdasarkan pada bidang slip tidak dapat diprediksi. Mula-mula mengkaji tentang faktor bentuk kemudian faktor kedalaman. Teori yang sama diaplikasikan pada jangkar pelat lainnya.

Vasic (1971) mengamsumsikan bahwa kapasitas tarik merupakan kombinasi antara berat efektif dari jangkar, berat efektif dari tanah, komponen vertikal dari tahanan geser tanah disepanjang bidang longsor. Hasil observasinya menyatakan bahwa semakin meningkat kedalaman penetrasi akan semakin besar kapasitas cabutnya.

Das (1978,1980) mengusulkan prosedur yang didasarkan pada percobaan model di laboratorium, untuk mengestimasi kapasitas cabut batas dari jangkar pelat berbentuk lingkaran, persegi, dan kepingan pelat yang ditanam di dalam tanah kohesif lunak. Model jangkar yang digunakan memiliki ukuran lebar 38–50 mm dan panjang antara 38-190 mm.

Sejumlah hasil tes di laboratorium dan tes lapangan yang dipublikasikan untuk menentukan kapasitas angkat dari jangkar pelat untuk kondisi jangka pendek yang ditanam di dalam tanah lunak dirangkum oleh Das (1990).

## **2.3 Parameter Tanah**

Hubungan antara beberapa parameter tanah dinyatakan pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Nilai Poison Rasio ( $\mu$ )

Jenis Tanah	Poison Rasio ( $\mu$ )
Lempung, jenuh	0,4 – 0,5
Lempung, tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung Berpasir	0,3 – 0,35
Lanau	0,2 – 0,4
Pasir (padat)	
Kasar (angka pori = 0,4 – 0,7)	0,15
Berbutir halus (angka pori = 0,4 – 0,7)	0,25
Batuan	0,1-0,4 (agak tergantung jenis batuan)
Tanah Loess	0,1 – 0,3
Es	0,36
Beton	0,15

*Sumber ensiklopedi seismik*

## 2.4 Hasil Penelitian Secara Experimen

Pengujian karakteristik tanah dilakukan untuk mengklasifikasi jenis tanah yang digunakan pada penelitian. Hasil pemeriksaan karakteristik tanah dinyatakan pada Tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.2 Hasil pemeriksaan karakteristik tanah

Jenis Pemeriksaan		Hasil Pemeriksaan
Pemeriksaan Sifat Fisis Tanah		
1.	Kadar Air	21,14 %
2.	Berat Jenis Spesifik	2,72
3.	Batas-batas Atterberg	65,78 %
❖	Batas Cair ( <i>LL</i> )	33,33 %
❖	Batas Plastis ( <i>PL</i> )	32,45 %
❖	Indeks Plastisitas ( <i>PI</i> )	22,71 %
❖	Batas Susut ( <i>SL</i> )	Tanah berbutir kasar = 15,7 % Tanah berbutir halus = 84,3 %
4.	Gradasi Butiran	USCS → MH & OH
5.	Klasifikasi tanah	AASHTO → A-7-5  $w_{opt} = 33,12 \%$
6.	Kompaksi	$\gamma_{dry} = 1,26 \text{ gr/cm}^3$  $R = 83,808 \%$
7.	Pemadatan	
Pemeriksaan Sifat Mekanis Tanah		



1. Kuat tekan bebas	$qu = 107480 \text{ Pa}$ $c_u = 53740,442 \text{ Pa}$ $\gamma_{\text{dry}} = 1,054 \text{ gr/cm}^3$ $E = 3353 \text{ Pa}$
2. Vane shear	$c_u = 50013,915 \text{ Pa}$

*sumber hasil pengujian laboratorium*

## 2.5 Kapasitas cabut batas (*ultimate pull-out capacity*)

### 2.5.1 Menentukan kapasitas cabut batas jangkar secara teoritis

Kapasitas cabut batas jangkar pada lempung kondisi *undrained* yang diusulkan oleh Merifield et al. (2003), diperlihatkan sebagai fungsi kekuatan geser *undrained* pada Persamaan 1. Nilai  $N_c$  tanah tanpa berat isi ( $\gamma = 0$ ) sehingga  $N_c = N_{co}$  pada Persamaan 2 dan Nilai  $N_c$  tanah dengan berat isi ( $\gamma \neq 0$ ) sehingga  $N_c = N_{c\gamma}$  pada Persamaan 3.

$$q_u = \frac{Q_u}{A} = c_u N_c \quad (1)$$

$$N_{co} = \frac{q_u}{c_u} \quad (2)$$

$$N_{c\gamma} = N_{co} + \frac{\gamma H}{c_u} \quad (3)$$

Persamaan 1, Persamaan 2 dan Persamaan 3 merefleksikan kompleksitas faktor *break-out* ( $N_c$ ), seperti yang telah diteliti oleh Rowe (1978), faktor *break-out* adalah fungsi dari embedment ratio ( $H/D$ ) dan tekanan *overburden* yang kemudian dirumuskan dalam kuantitas tak berdimensi  $\frac{\gamma H}{c_u}$ . Hal ini mengindikasikan bahwa pemisahan dari permasalahan geometri secara keseluruhan, properties tanah mempengaruhi perilaku jangkar secara langsung.

Perlu dicatat bahwa faktor *break-out* yang diberikan dalam Persamaan 1, Persamaan 2 dan Persamaan 3 tidak pasti meningkat terus, tapi mencapai nilai batas yang menandakan transisi antara perilaku jangkar dangkal dan jangkar dalam. Nilai batas faktor *break-out* didefinisikan sebagai  $N_{c^*}$ .

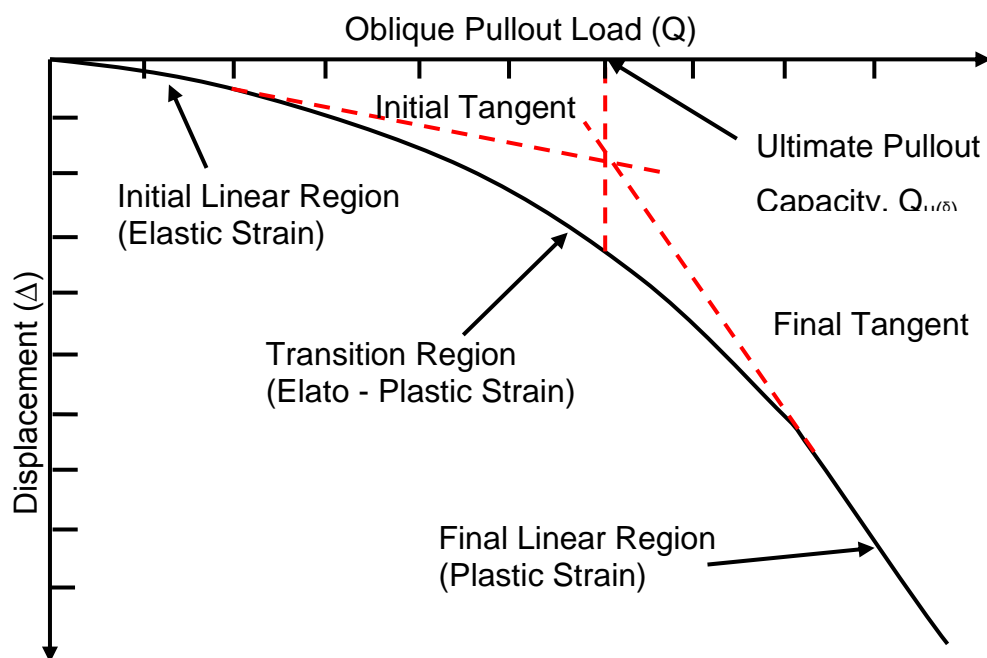
Merifield et al. (2003) juga telah membuat persamaan untuk menentukan nilai faktor *break-out* pada jangkar circular dari analisa elemen hingga pada Persamaan 4 dengan faktor bentuk ( $S$ ) pada beban runtuh yang merupakan rasio kapasitas jangkar circular dibagi dengan kapasitas jangkar strip.

$$N_{co} = S \left[ 2.56 \ln \left( 2 \frac{H}{D} \right) \right] \quad (4)$$

### 2.5.2 Menentukan kapasitas cabut batas jangkar secara grafis

Bhardwaj dan Sunil (2013), menemukan dua metode garis singgung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, sebagai metode yang paling cocok untuk menentukan kapasitas cabut batas. Dalam metode ini, penting untuk mempertimbangkan kurva beban-perpindahan hingga daerah linier akhir saja, karena setelah ini kadang-kadang penambahan beban kecil dari beban dapat menghasilkan perpindahan besar dan kurva

dapat menjadi sejajar dengan perpindahan sumbu, ini dapat mengakibatkan hasil yang tidak diharapkan. Praktis akan lebih mudah untuk mengukur perpindahan dalam arah horizontal dan vertikal lebih ke arah beban, dan usaha yang terpisah dari kapasitas ultimate atas dasar perpindahan vertikal dan horizontal membantu untuk mengetahui nilai perkiraan sudut kritis yaitu sudut pada mode perubahan kegagalan dari aksial ke lateral. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kapasitas cabut batas untuk setiap kecenderungan beban penarikan ditentukan dari kedua garis grafik vertikal dan horizontal perpindahan kurva dan minimal dua dilaporkan sebagai kapasitas cabut batas.



Gambar 2.2 Menentukan kapasitas cabut batas secara grafis (Bhardwaj dan Sunil)

## 2.6 Model Elastoplastis

Semua model konstitutif elastoplastis didasarkan pada beberapa teori plastisitas. Model konstitutif elastoplastis berbeda menggambarkan perilaku

tanah dengan menggunakan kriteria leleh yang berbeda, hukum-hukum *hardening / softening* dan aturan aliran. Salah satu Model elastoplastis paling sederhana adalah model linear elastis plastis sempurna (juga dikenal sebagai model *Mohr-Coulomb* di sebagian program elemen hingga / beda hingga). Dalam model ini, kriteria leleh *Mohr-Coulomb* dan aturan aliran non-terkait kegagalan geser digunakan. Persamaan berikut menunjukkan bentuk sederhana dari kriteria leleh *Mohr-Coulomb*.

## **2.7 Program FLAC**

### **2.7.1 Pengenalan Program FLAC**

FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) adalah program beda hingga yang eksplisit untuk perhitungan mekanika teknik. Hal ini dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis pada IBM-compatible microcomputer atau SUN SPARCStation yang biasanya tersedia pada perusahaan-perusahaan engineering. Software ini dirancang untuk perhitungan kecepatan tinggi berupa model grid yang mengandung ribuan elemen. Yang menjadi permasalahan teknis adalah mengenai akses yang diperlukan untuk menuju ke mainframe computer untuk menyelesaikan suatu permasalahan, sekarang dapat diselesaikan dengan FLAC pada microcomputer dalam beberapa jam atau kurang. FLAC pada awalnya dikembangkan untuk geoteknik dan insinyur pertambangan, tetapi program ini juga dapat menjadi alat analisis dan desain yang sangat diperlukan dalam berbagai bidang teknik sipil dan mesin.

FLAC menawarkan berbagai macam kemampuan untuk memecahkan masalah dengan kompleks dalam mekanika. Bahan diwakili oleh elemen-elemen dalam grid yang disesuaikan oleh pengguna sesuai dengan bentuk dari objek yang akan dibuat modelnya. Setiap elemen berperilaku berdasarkan ketentuan linear atau non-linear dari hukum tegangan/regangan sebagai respon atas gaya yang diterapkan atau batas hambatan. Material dapat menghasilkan dan mengalir, dan grid dapat merubah bentuk (dalam mode regangan besar) dan bergerak dengan material yang dipresentasikan. FLAC didasarkan atas skema perhitungan “lagrangian” yang cocok untuk pemodelan distorsi besar dan keruntuhan material. Beberapa model konstitutif built-in yang tersedia untuk mensimulasikan yang sangat non-linear, yang merupakan representative dari bahan geologi atau bahan serupa.

Selain itu, FLAC memuat banyak fitur khusus seperti :

- Elemen interface untuk mensimulasikan bidang-bidang yang mengalami perbedaan yaitu yang mengalami slip dan/atau terjadi pemisahan.
- Model air tanah dan konsolidasi (sepenuhnya digabungkan)
- Bidang regangan, bidang tegangan, dan model geometri aksis simetrik.
- Opsional kemampuan analisis sepenuhnya dinamis
- Opsional model visco-elastis
- Opsional kemampuan pemodelan termal
- Fasilitas yang luas untuk menghasilkan plot dari hampir setiap masalah variable di FLAC.

FLAC juga mengandung Bahasa pemrograman built-in yang kuat, FISH (kependekan dari FLACish), yang memungkinkan pengguna untuk mendefinisikan

variabel dan fungsi baru. Pengguna dapat menulis fungsi mereka sendiri untuk memperpanjang kegunaan FLAC dan bahkan menerapkan model konstitutif mereka sendiri jika diinginkan. FISH menawarkan kemampuan yang unik bagi pengguna FLAC yang ingin menyesuaikan analisis sesuai dengan kebutuhan spesifikasi mereka.

### **2.7.2 Tentang Aplikasi**

Permasalahan dalam rekayasa geoteknik mencakup berbagai proses fisik. Kekuatan FLAC adalah kemampuannya untuk mensimulasikan proses tersebut baik secara individual ataupun dalam kombinasi. Mekanikal, aliran fluida dan analisis termal dapat ditampilkan sebagai perhitungan yang terpisah atau tergabung. Sebagai contoh, pemodelan aliran air tanah jenuh dan tak jenuh dapat dilakukan secara terpisah atau digabungkan dengan perhitungan tegangan mekanis. Demikian juga, perhitungan perpindahan panas dapat dijalankan dengan terpisah atau digabungkan dengan perhitungan tegangan termal. Model dapat dijalankan untuk solusi keseimbangan statis dan kemudian mengalami eksitasi dinamis. Perhitungan elemen struktur dapat berjalan secara tersendiri atau digabungkan ke grid flac. Sejauh mana proses analisis diintegrasikan adalah hak prerogatif pengguna, dan dilakukan penggabungan atau tidak tergantung keinginan pengguna.

Dengan demikian, FLAC dapat segera diterapkan bagi analisis sederhana dan analisis kompleks. Pengguna memutuskan tingkat kompleksitas untuk dimodelkan, misalnya, model flac dapat dibuat untuk perhitungan tegangan mekanis sederhana dan efektif serta untuk analisis kompleks yang melibatkan gabungan interaksi fluida/tegangan dan perubahan tekanan pori yang dinamis.

Jenis proses yang dapat ditangani di FLAC dan permasalahan khas aplikasi adalah :

- Kapasitas pemuatan mekanikal dan deformasi pada stabilitas lereng dan desain deformasi.
- Evolusi kegagalan progresif dan keruntuhan pada tambang batu dan desain tunnel.
- Perilaku perambatan bahan kental yang dipengaruhi oleh waktu pada desain tambang garam dan kalium.
- Pengendalian yang disediakan oleh structural pendukung pada material geologi pada lapisan tunnel, rock bolting, tieback and soil nailing.
- Aliran fluida jenuh dan tak jenuh, dan penumpukan dan pembuangan tekanan pori untuk pemuatan undrained dan drained pada kajian aliran air tanah dan konsolidasi dalam mempertahankan struktur tanah dan lereng tanah, dan pada teknik reservoir.
- Interaksi gabungan mekanikal aliran fluida pada penipisan waduk.
- Pemuatan dinamis pada fitur geologi yang rentan slip pada kajian rekayasa gempa dan tambang batu pecah.
- Efek dinamis dari muatan dan getaran ledakan pada tunnel driving atau pada kegiatan penambangan.
- Perangsangan seismik struktur seperti pada bendungan dan ditambah efek fluida pada perubahan tekanan pori yang dipengaruhi waktu pada fenomena likuifaksi pada pondasi dan bendungan.

- Deformasi dan ketidakstabilan mekanis yang disebabkan dari beban temal pada penilaian kinerja repositori bawah tanah limbah radioaktif tingkat tinggi.

FLAC merupakan program computer yang berbasis perintah. Kata perintah mengontrol pengoperasian program. Input “language” didasarkan pada perintah kata yang dikenali yang memungkinkan untuk mengidentifikasi penerapan setiap perintah dengan mudah dan logis. Perintah dengan memasukan data format bebas dan dapat dimasukkan melalui mode “interaktif” (yaitu melalui keyboard) atau mode “batch” (yaitu disimpan dalam data file dan terbaca dalam disket atau hard drive).

### **2.7.3 FISH**

FISH merupakan Bahasa pemrograman yang tertanam dalam FLAC yang memungkinkan pengguna untuk mendefinisikan variabel dan fungsi baru. Fungsi ini dapat digunakan untuk memperluas kegunaan FLAC atau menerapkan model konstitutif baru. Sebagai contoh, variabel baru dapat diplot atau dicetak, generator jaringan khusus dapat dilaksanakan, control servo dapat diterapkan untuk tes numeric, distribusi yang tidak biasa dari property dapat ditentukan, dan studi parameter dapat diotomatisasi. FISH adalah sebuah kompilator: program-program yang masuk melalui file data FLAC dijabarkan ke dalam daftar instruksi yang disimpan dalam ruang memori FLAC; sumber asli program tidak disimpan oleh FLAC. Setiap kali fungsi FISH dipanggil, kode yang komplit dijalankan.

Program FISH hanya tertanam dalam file data FLAC normal. Berikut ini perintah DEF diproses sebagai fungsi bernama baris DEF. Fungsi berakhir ketika akhir



perintah ditemui. Fungsi ini hanya dijalankan ketika nama itu ditetapkan sebagai perintah.

Sebuah konstruksi penting dalam FISH adalah urutan  
COMMAND

; (FLAC commands go here)

END\_COMMAND

Variabel FISH dan nama fungsi dan keterangan FISH harus dijabarkan secara penuh. Tidak ada garis lanjutan yang diperbolehkan; variabel perantara dapat digunakan untuk membagi ekspresi yang kompleks. FISH peka terhadap huruf; Semua nama diubah menjadi huruf. Ruang yang signifikan dan berfungsi untuk memisahkan variabel, kata kunci dan nilai-nilai. Spasi tidak diperbolehkan dalam nama fungsi, tetapi spasi tambahan dapat digunakan untuk membantu kemudahan bacaan. Karakter apapun setelah tanda titik koma (;) diabaikan. Nama-nama variabel atau fungsi harus mulai dengan karakter non-numerik, dan harus tidak mengandung simbol-simbol yang berikut:

. , \* / + - ^ = < > # ( ) [ ] @ ;

Nama-nama yang ditetapkan pengguna boleh panjang, meskipun mungkin akan terpotong di prin-out dan petak keterangan karena adanya batasan.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah pengaplikasian komputer dengan menggunakan suatu aplikasi atau software.

Kasus yang ditinjau adalah suatu jangkar tiga dimensi, dimana akan didesain 2 tipe jangkar yaitu jangkar tipe lingkaran dan jangkar tipe bintang dengan empat elemen dan variasi kedalaman pembedaan. Kedua tipe jangkar dan variasi kedalaman pembedaan ini akan di analisis kapasitas cabutnya dengan menggunakan software.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Alat bantu yang digunakan dalam desain dan analisis struktur adalah program komputer. Dengan menggunakan software FLAC3D untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja struktur yang diteliti.

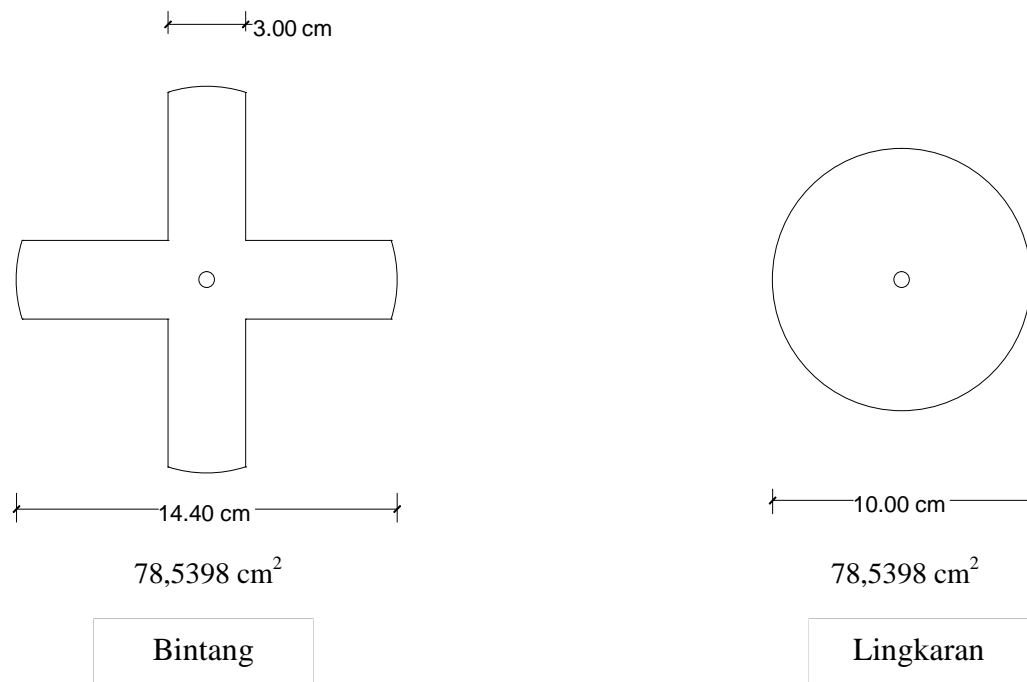
#### **3.3 Model Struktur Jangkar**

Untuk mengkaji kapasitas jangkar bintang ini maka pada penelitian ini akan digunakan model jangkar pada penelitian terdahulu yang telah di teliti berdasarkan uji laboratorium. Model jangkar berbentuk bintang yang akan dibangun merupakan modifikasi dari jangkar pelat lingkaran. Model jangkar terbuat dari baja pelat.

Pada penelitian ini model jangkar yang akan digunakan terdiri dari dua tipe masing-masing :

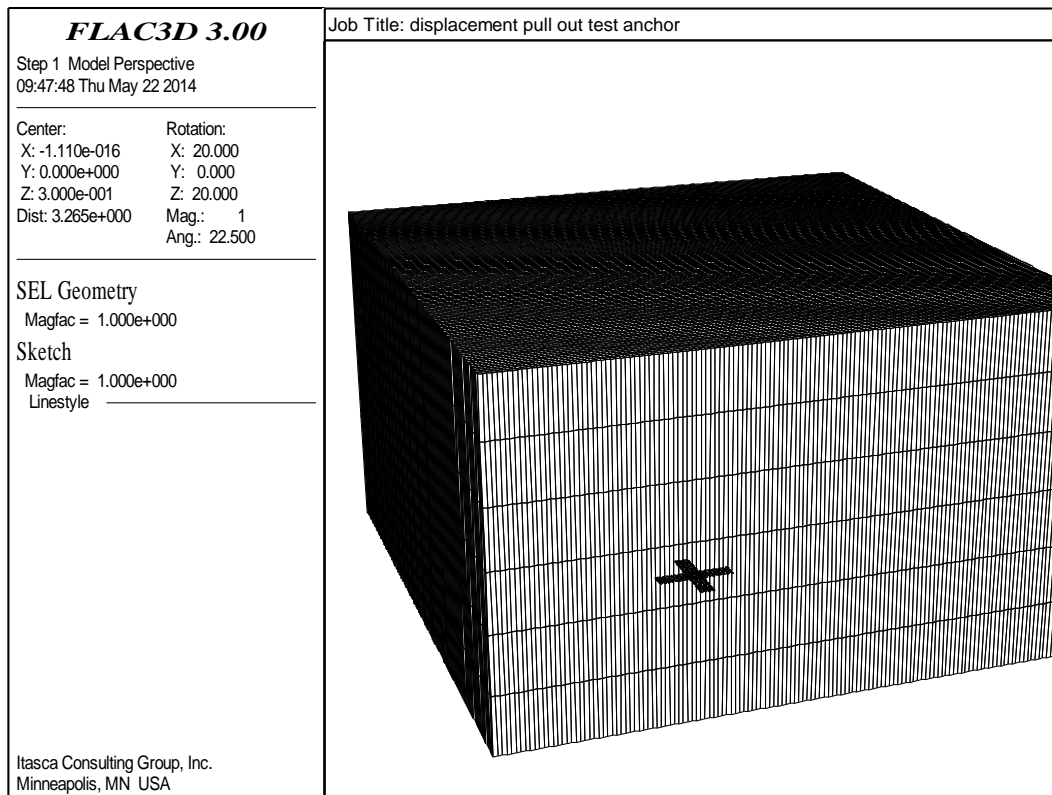
1. Jangkar pelat lingkaran dengan diameter 100 mm dan tebal pelat 4 mm sebagai acuan standar.
2. Jangkar bentuk bintang dengan luasan tetap dengan variasi panjang elemen untuk mencapai luasan tetap dengan jangkar pelat lingkaran berdiameter 100 mm sebagai acuan.

Untuk lebih jelasnya geometri model jangkar yang diusulkan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.1 . Tipikal Model Jangkar

Dalam memodelkan struktur jangkar dan tanah pada program FLAC3D, jangkar tidak dilengkapi dengan tulangan yang digunakan untuk menarik pada percobaan di lapangan. Letak pusat jangkar pada FLAC3D yaitu pada titik tengah dari tanah atau pada sumbu (0,0),



Gambar 3.2 . Model Sketsa Struktur Jangkar dan Tanah pada FLAC3D

### 3.4 Data-Data Struktur

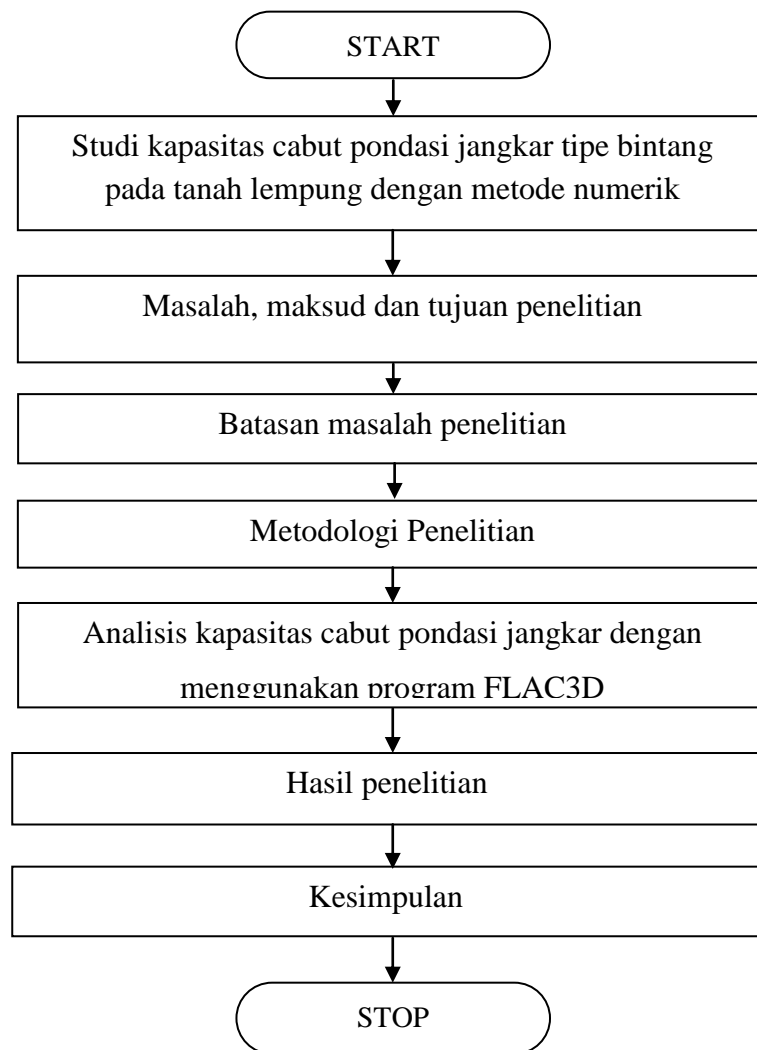
Adapun data-data yang dibutuhkan untuk menganalisis struktur dalam penelitian ini adalah berupa data tanah, yaitu :

- dry density =  $10336,21 \text{ N/m}^3$  (hasil penelitian karakteristik tanah)
- poisson's ratio = 0,3 (tabel poisson's ratio berdasarkan jenis tanah)
- cohesion =  $5.48e4 \text{ Pa}$  (hasil penelitian karakteristik tanah)
- friction =  $0^\circ$  (tanah lempung)
- modulus young =  $3353e3 \text{ Pa}$
- shear modulus =  $1.2896e6 \text{ Pa}$

- modulus bulk =  $2.7942 \times 10^6$  Pa

Selain data tanah, untuk plat jangkar yang berbahan baja juga telah dimasukan yaitu dengan menggunakan data baja pada umumnya.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

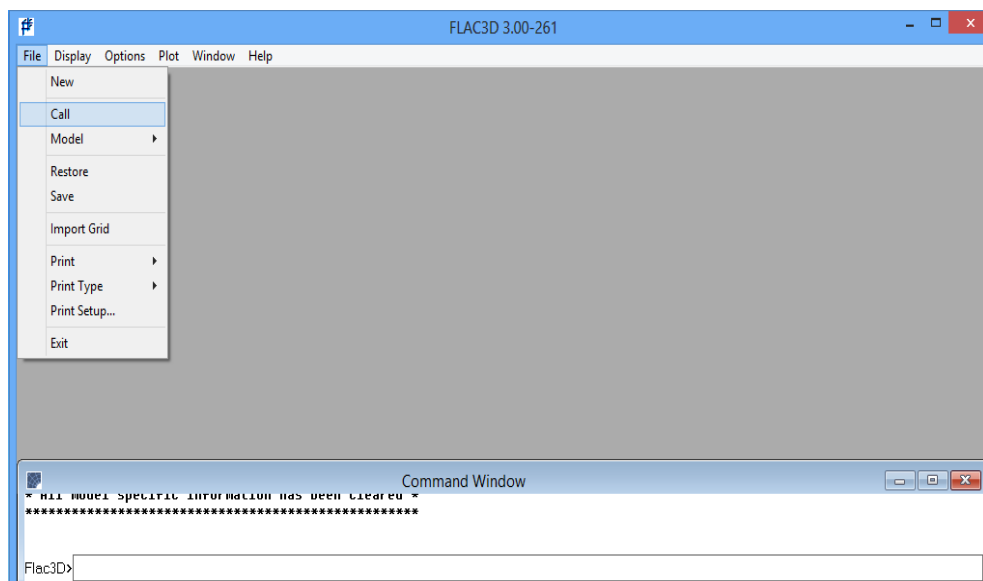


Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian

### 3.6 Analisis Kapasitas Cabut Pondasi Jangkar dengan Menggunakan Program FLAC3D

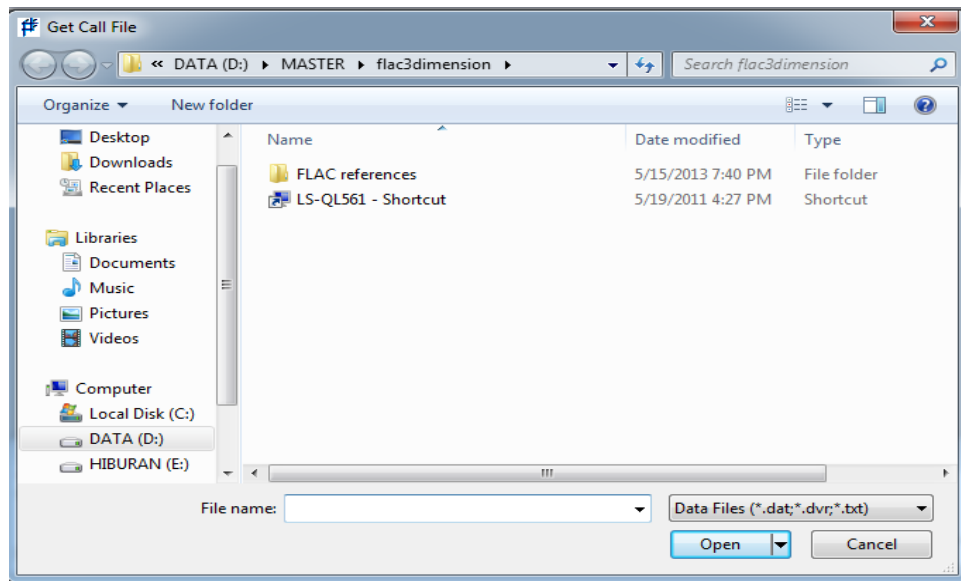
Penelitian ini menggunakan program komputer *FLAC3D ver. 3.0* . Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

- Melakukan perancangan model struktur, termasuk data-data karakteristik struktur, dan perintah yang akan dioperasikan oleh *FLAC3D* pada *notepad*. (Lampiran)
- Memasukkan *file notepad* yang telah dibuat kedalam *FLAC3D* dengan memilih menu *file >> call*



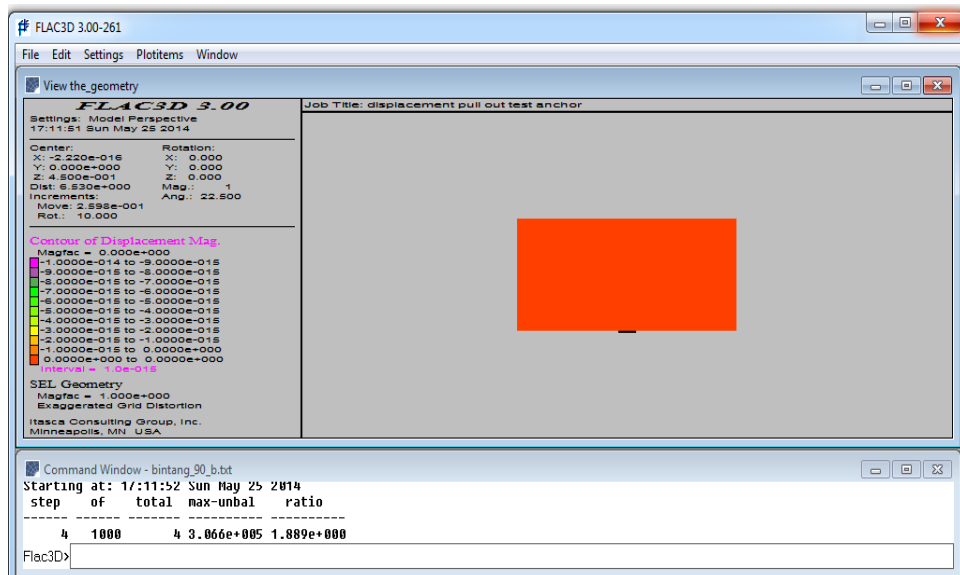
Gambar 3.4 . Tampilan Program *FLAC3D*

- Maka akan muncul tampilan sebagai berikut, kemudian membuka *file notepad* yang telah dibuat sebelumnya.



Gambar 3.5 . Tampilan *Get Call File*

- Setelah *file* telah terinput, *software* akan memproses data-data yang telah terinput tersebut.



Gambar 3.6 . Tampilan Proses Data *FLAC3D*

- Setelah proses selesai, kemudian dilakukan *plot* hasil-hasil yang dibutuhkan dalam menganalisis kapasitas cabut pondasi jangkar pada tanah akibat dari perlakuan tarik pada jangkar.

### 3.7 Validasi Hasil Analisis Kapasitas Cabut Pondasi Jangkar dengan Menggunakan Program FLAC3D

Hasil dari analisis kapasitas cabut pondasi jangkar dengan menggunakan program FLAC3D ini adalah berupa grafik perbandingan antara hubungan kapasitas cabut jangkar dengan kedalaman pembenaman jangkar yang di uji pada laboratorium dengan uji prediksi pada software FLAC3D.

Validasi dari hasil analisis kapasitas cabut dapat dinyatakan dengan rumus faktor superposisi sebagai berikut :

$$F_s = \frac{q_{actual}}{q_{predicted}}$$

Dimana :

$F_s$  = nilai error

$q_{actual}$  = nilai kapasitas cabut pada uji laboratorium

$q_{predicted}$  = nilai kapasitas cabut pada prediksi program



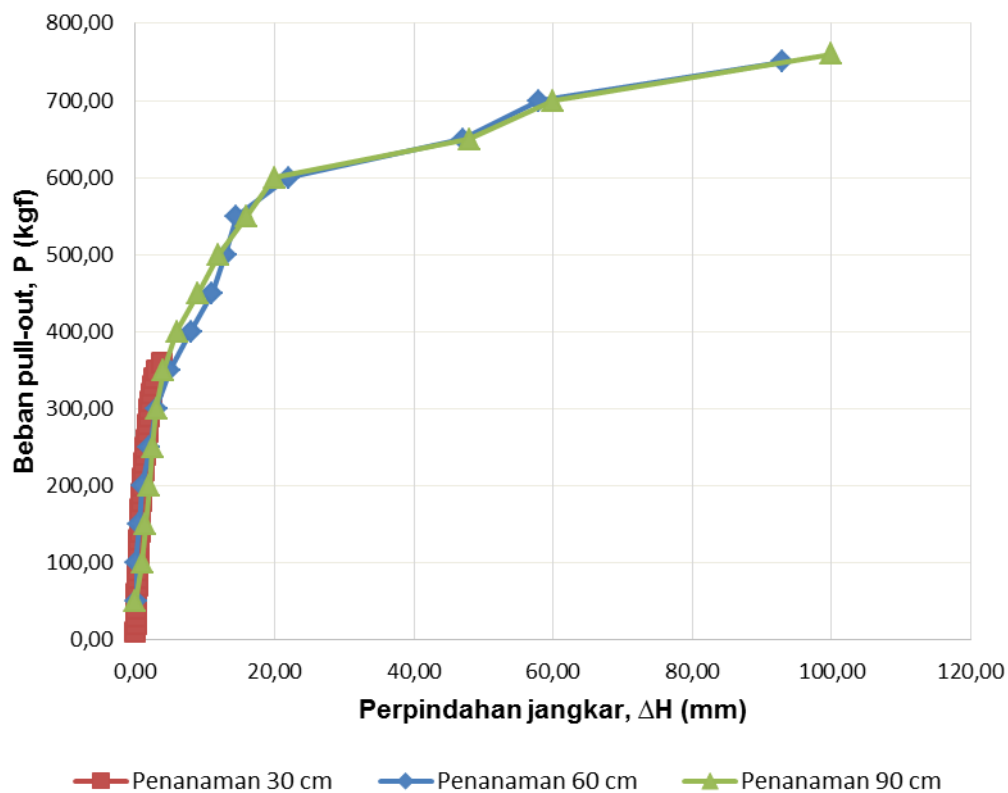
Hasil dari rumus tersebut memiliki ketentuan batas nilai error yang menjadi hasil validasi dari analisis kapasitas cabut yaitu  $< 5\%$ . Hal ini telah dikemukakan oleh Merifield (2005).

## BAB IV

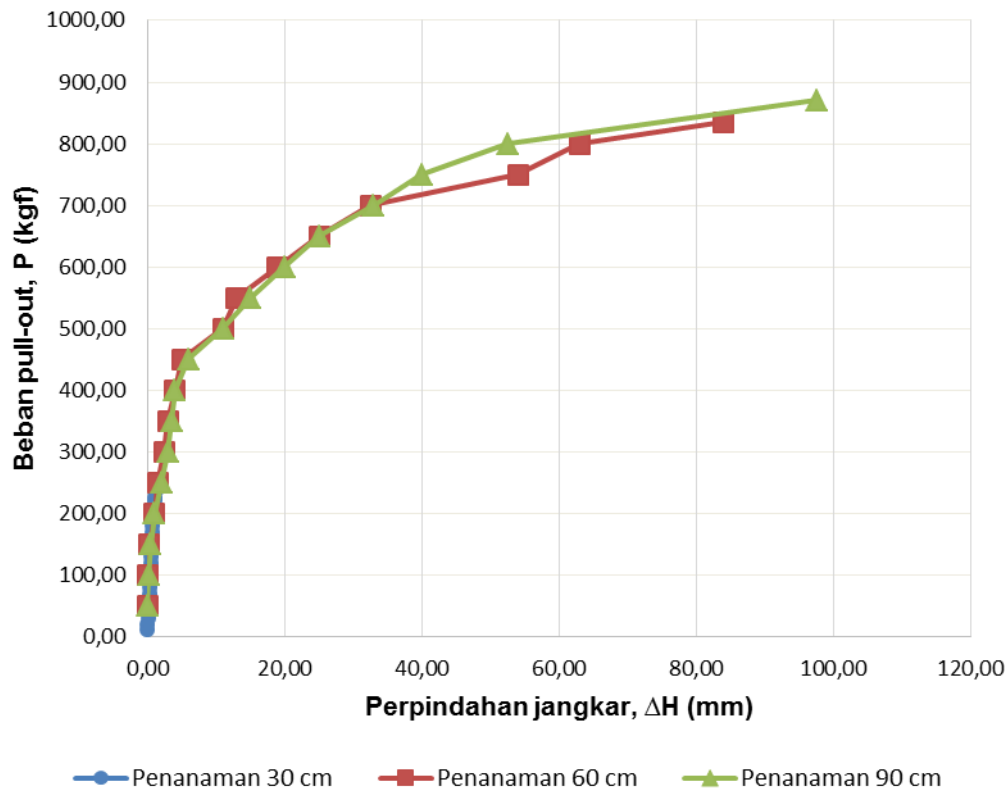
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hubungan Antara Kapasitas Cabut (*Pullout Capacity*) Dengan Perpindahan Jangkar (*Uplift Displacement*) Pada Setiap Kedalaman.

Dari hubungan kapasitas cabut dengan perpindahan jangkar pada setiap model kemudian dibuatkan grafik gabungan untuk setiap kedalaman sebagai berikut:



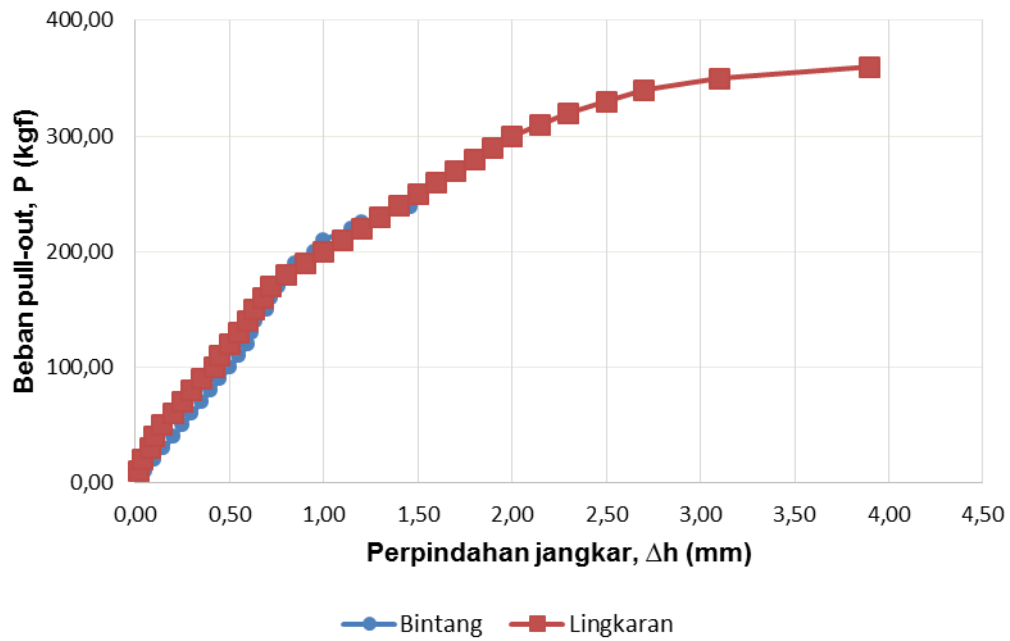
Gambar 4.1 Grafik hubungan perpindahan jangkar dengan kapasitas cabut pada jangkar pelat lingkaran di kedalaman 30 cm, 60cm, dan 90cm.



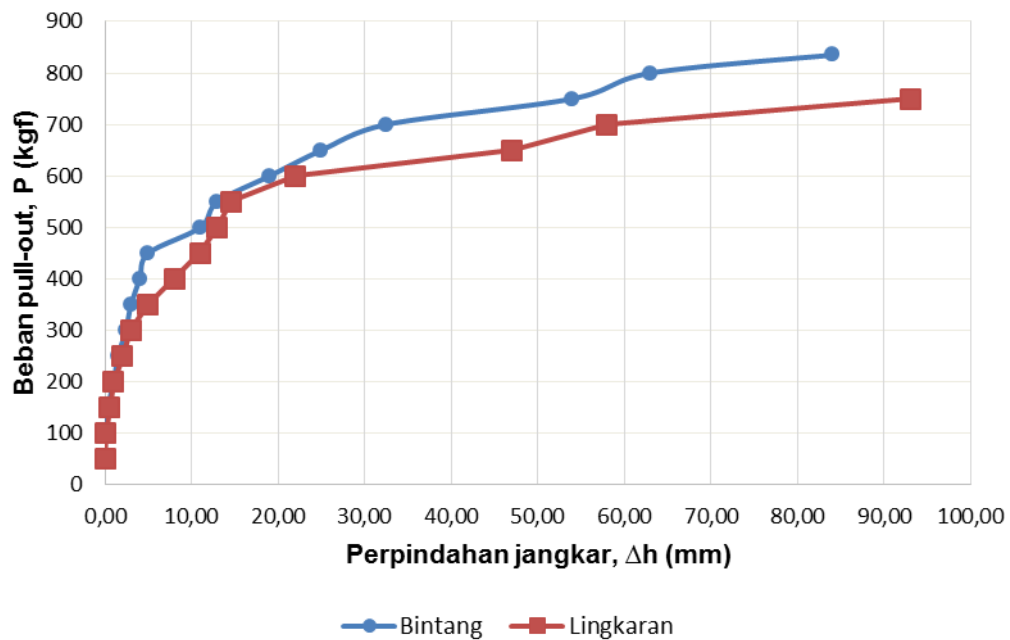
Gambar 4.2 Grafik hubungan perpindahan jangkar dengan kapasitas cabut pada jangkar pelat bintang di kedalaman 30 cm, 60 cm, dan 90 cm.

Pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 terdapat grafik hubungan perpindahan jangkar dengan kapasitas cabut untuk setiap model jangkar. Untuk pengambilan data kapasitas cabut pada kedalaman 30 cm dilakukan sampai terjadi keruntuhan tanah di permukaan, sedangkan untuk kedalaman 60 cm dan 90 cm pengambilan data dilakukan saat deformasinya sudah dianggap besar meskipun beban masih terus meningkat.

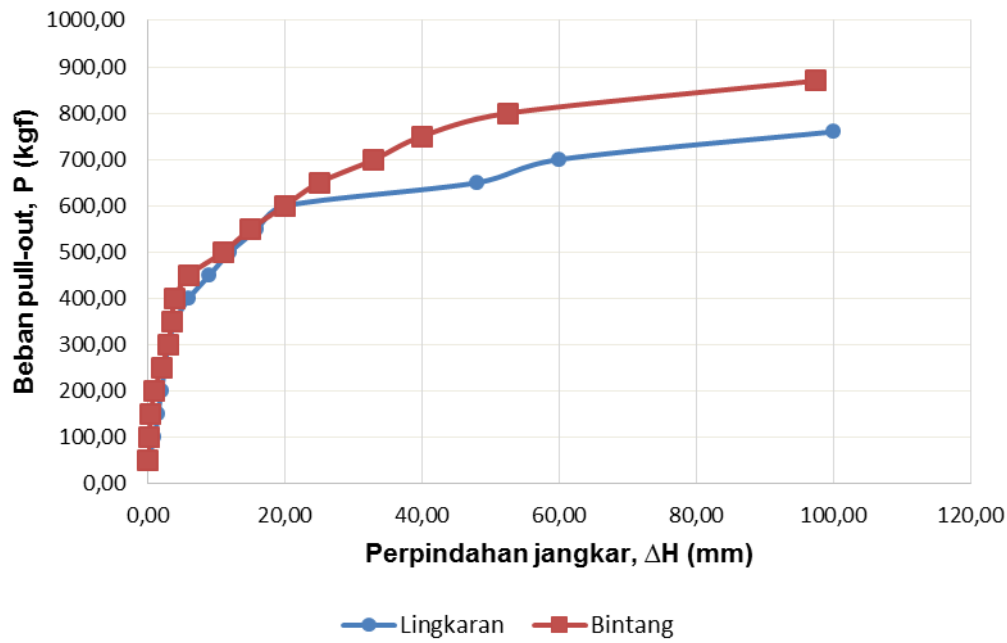
Dari kedua grafik perbandingan diatas dapat diperoleh perbandingan grafik kapasitas cabut dan perpindahan jangkar pada tiap kedalaman pembenaman tipe jangkar pelat lingkaran dan tipe jangkar pelat bintang. Perbandingan ini dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4.3 Grafik perbandingan kapasitas cabut jangkar terhadap perpindahan jangkar pelat bintang dan pelat lingkaran pada kedalaman 30 cm .



Gambar 4.4 Grafik perbandingan kapasitas cabut jangkar terhadap perpindahan jangkar pelat bintang dan pelat lingkaran pada kedalaman 60 cm.



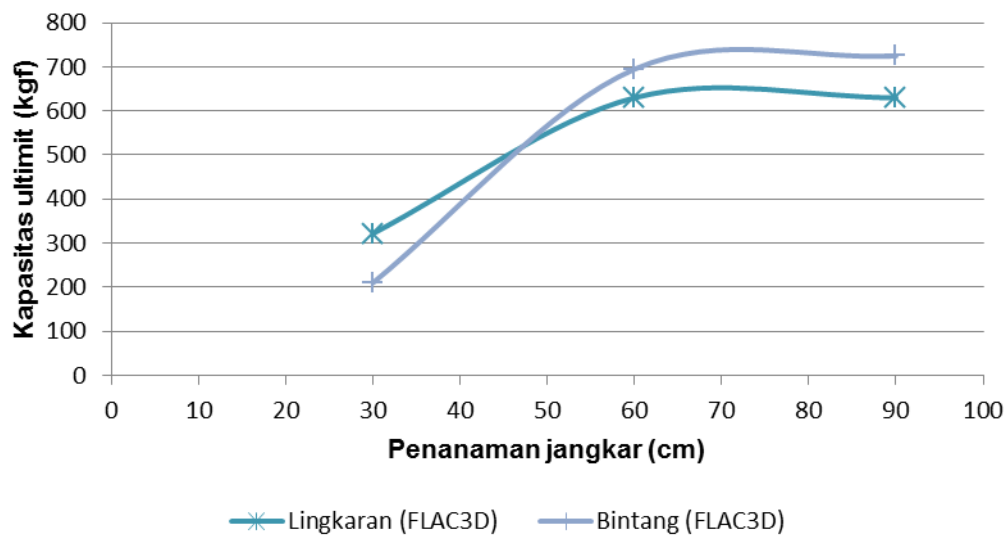
Gambar 4.5 Grafik perbandingan kapasitas cabut jangkar terhadap perpindahan jangkar pelat bintang dan pelat lingkaran pada kedalaman 90 cm.

Dari Gambar 4.3 – Gambar 4.5, grafik menunjukkan perilaku jangkar yang berbeda pada tiap kedalaman yang berbeda pula. Pada kedalaman 30 cm jangkar pelat lingkaran memiliki nilai kapasitas cabut yang lebih besar dibandingkan dengan jangkar pelat bintang. Sedangkan jangkar pelat bintang tersebut memiliki nilai kapasitas cabut yang lebih besar bila dibandingkan dengan jangkar pelat lingkaran pada kedalaman pembenaman jangkar 60 cm dan 90 cm. Untuk kedalaman 90 cm, kapasitas cabut pada model jangkar lingkaran dan bintang lebih besar dibandingkan pada kedalaman 60 cm dan 30 cm. Untuk kedalaman 60 cm memiliki kapasitas cabut yang lebih besar juga daripada kedalaman 30 cm.

## 4.2 Hasil Tes Kapasitas Cabut Ultimate Pada Setiap Kedalaman Pembedaman

Kapasitas cabut ultimate merupakan perpotongan garis regangan elastis dan garis regangan plastis pada grafik hubungan kapasitas cabut terhadap perpindahan pelat jangkar.

Nilai kapasitas cabut ultimate dari hasil tes pada setiap kedalaman dimana nilainya ditentukan pada kondisi beban mulai menunjukkan perubahan konstan sedangkan perpindahannya terus bertambah ditunjukkan pada grafik berikut:



Gambar 4.6 Grafik perbandingan hubungan kapasitas ultimate dengan penanaman jangkar antara jangkar pelat Lingkaran dengan jangkar pelat Bintang

Dari grafik tersebut diperoleh kapasitas cabut batas ultimate ( $P_u$ ) dari model jangkar tiap kedalaman sebagai berikut:

Tabel 4.1 Rekapitulasi kapasitas cabut batas ( $P_u$ )

No	Bentuk Jangkar	$P_u$ (kgf)		
		30 cm	60 cm	90 cm
1	Lingkaran	322	630	630
2	Bintang	210	695	725

#### 4.3 Hubungan Perubahan Diamater Equivalent Terhadap Kapasitas cabut ( $P_u$ ).

Dari hasil rekapitulasi kapasitas cabut batas ( $P_u$ ), dapat diperoleh persentase perubahan kapasitas cabut batas untuk setiap model jangkar dengan membandingkan antara perubahan diameter jangkar.

Pada tabel 4.1 perubahan diameter equivalent dapat dihubungkan dengan hasil persentase perubahan kapasitas cabut batas ultimate pada jangkar pelat lingkaran dan jangkar pelat bintang sebagai berikut:

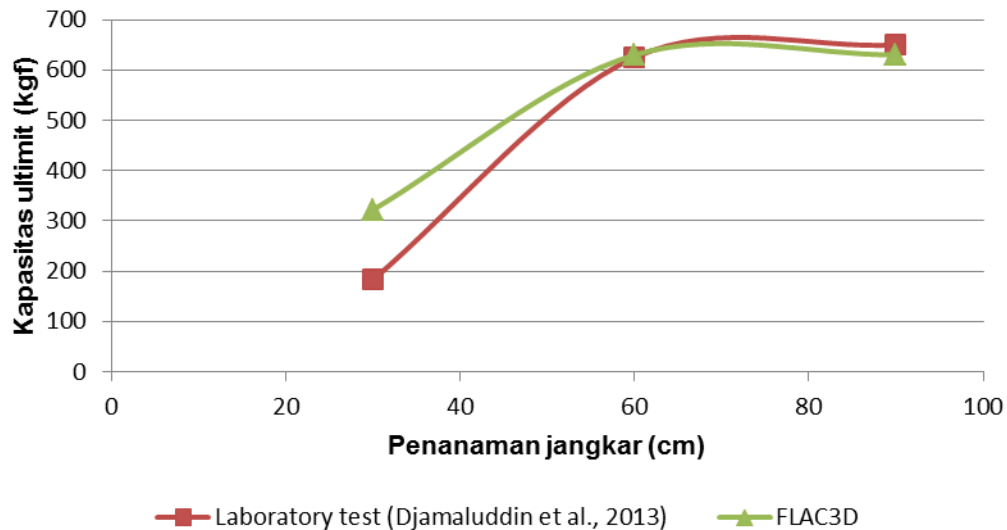
Tabel 4.2 Rekapitulasi kapasitas cabut batas ( $P_u$ )

Model jangkar	Perubahan diameter equivalent (%)		Kapasitas cabut ultimit (Kgf)		Perubahan kapasitas cabut ultimit (%)	
	<i>Lingkaran</i>	<i>Bintang</i>	<i>Lingkaran</i>	<i>Bintang</i>	<i>Lingkaran</i>	<i>Bintang</i>
Pembenaman 30 cm	-	44	322	210	-	-34.78
Pembenaman 60 cm	-	44	630	695	-	10.31
Pembenaman 90 cm	-	44	630	725	-	15.07

Tabel 4.2 menunjukkan hasil persentase perubahan kapasitas cabut jangkar pelat bintang pada kedalaman 30 cm mengalami pengurangan kapasitas cabut batas sebesar 34,78%. Sedangkan pembenaman jangkar pelat bintang pada kedalaman 60 cm dan 90 cm terjadi peningkatan kapasitas cabut sebesar 10,31% dan 15,07%.

#### 4.4 Perbandingan Kapasitas cabut batas ( $P_u$ ) Jangkar pada Tiap Kedalaman.

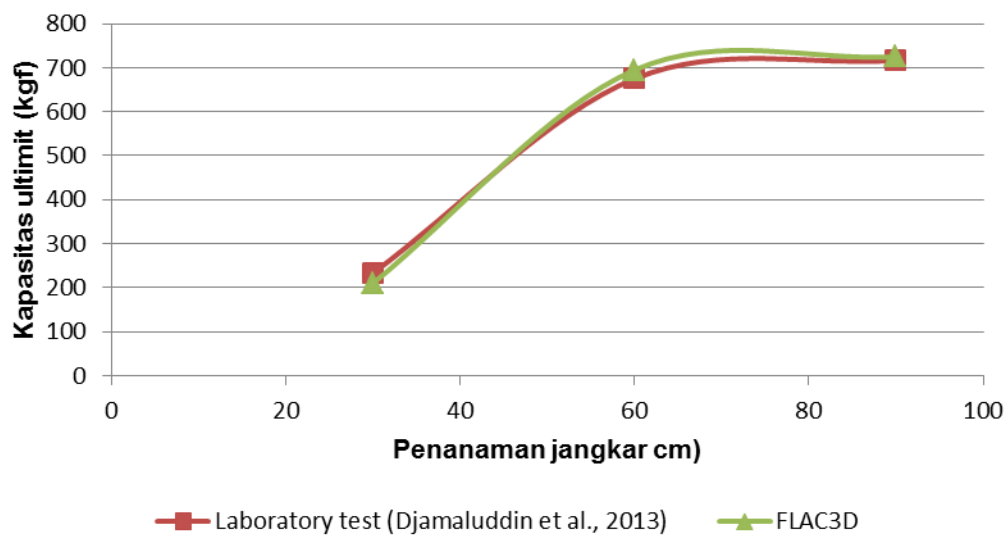
Hubungan kapasitas cabut ultimate dengan penanaman jangkar pada gambar 4.6 merupakan hasil pengujian numerik, kemudian dapat dibandingkan dengan hasil pengujian laboratorium oleh Djameluddin et al. (2013). Maka dari hasil perbandingan ini dapat dilihat melalui grafik sebagai berikut:



Gambar 4.7 Grafik perbandingan hubungan kapasitas ultimit dengan penanaman jangkar antara hasil pengujian numerik dengan hasil pengujian laboratorium pada jangkar pelat lingkaran.



Dari grafik gambar 4.7 dapat dilihat bahwa kapasitas cabut jangkar pelat lingkaran memiliki perbedaan yang cukup signifikan pada kedalaman pembenaman jangkar 30 cm terhadap pengujian laboratorium. Sedangkan pada kedalaman pembenaman jangkar 60 cm dan 90 cm menunjukkan kemiripan pada pengujian laboratorium.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan hubungan kapasitas ultimit dengan penanaman jangkar antara hasil pengujian numerik dengan hasil pengujian laboratorium pada jangkar pelat Bintang.

Pada grafik perbandingan gambar 4.8 nilai hasil kapasitas cabut jangkar pelat bintang pada pengujian numerik dengan nilai hasil pengujian laboratorium hampir memiliki kemiripan di setiap kedalaman pembenaman jangkar.

#### 4.5 Hasil Validasi Analisis Kapasitas Cabut Pada Tiap Kedalaman.

Hasil validasi analisis kapasitas cabut pondasi jangkar tipe bintang dan lingkaran pada tiap kedalaman 30 cm, 60 cm, dan 90 cm dapat dihitung dengan menggunakan nilai faktor superposisi untuk mengevaluasi hasil pengujian numerik, yang dapat di lihat pada tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Rekapitulasi nilai faktor superposisi kapasitas cabut.

Tipe Jangkar	Fs (%)		
	30 cm	60 cm	90 cm
Lingkaran	0,56	0,99	1,03
Bintang	1,10	0,97	0,98

Hasil tersebut dinyatakan dalam persentase dan memiliki ketentuan hasil kapasitas cabut  $< 5\%$ .

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisis kapasitas cabut dengan menggunakan program FLAC3D, maka dapat disimpulkan bahwa :

Kapasitas cabut ultimit jangkar pelat bintang pada pembenaman 30 cm, terjadi pengurangan kapasitas cabut batas sebesar 34,78% dari jangkar pelat lingkaran. Hal ini diperkirakan disebabkan oleh volume tanah yang berada diatas jangkar pelat bintang lebih sedikit akibat bentuk pelat bintang itu sendiri. Namun pada pembenaman jangkar 60 cm dan pembenaman jangkar 90 cm terjadi peningkatan kapasitas cabut masing-masing sebesar 10,31% (untuk pembenaman jangkar 60 cm) dan 15,07% (untuk pembenaman jangkar 90 cm) dari jangkar pelat lingkaran. Hal ini dimungkinkan karena jangkauan diameter pelat bintang terhadap tanah lebih besar ditambah lagi dengan volume tanah yang berada diatas pelat jangkar akibat kedalaman tanah. Jangkar tipe bintang yang memiliki keliling dan diameter equivalent yang lebih besar memiliki nilai kapasitas cabut yang lebih besar pula pada kedalaman pembenaman yang lebih besar, dibanding dengan model jangkar tipe lingkaran yang memiliki kapasitas cabut batas ( $P_u$ ) yang lebih besar pada kedalaman pembenaman yang kecil (dangkal).

## **5.2 Saran**

1. Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut mengenai pelat jangkar tipe bintang ini. Hal ini mengantisipasi kebutuhan lapangan dan kemudahan para praktisi teknis.
2. Diharapkan adanya penelitian selanjutnya yang menggunakan bentuk dan ukuran jangkar yang lebih bervariasi untuk membandingkan kapasitas cabut pada setiap jangkar.

## DAFTAR PUSTAKA

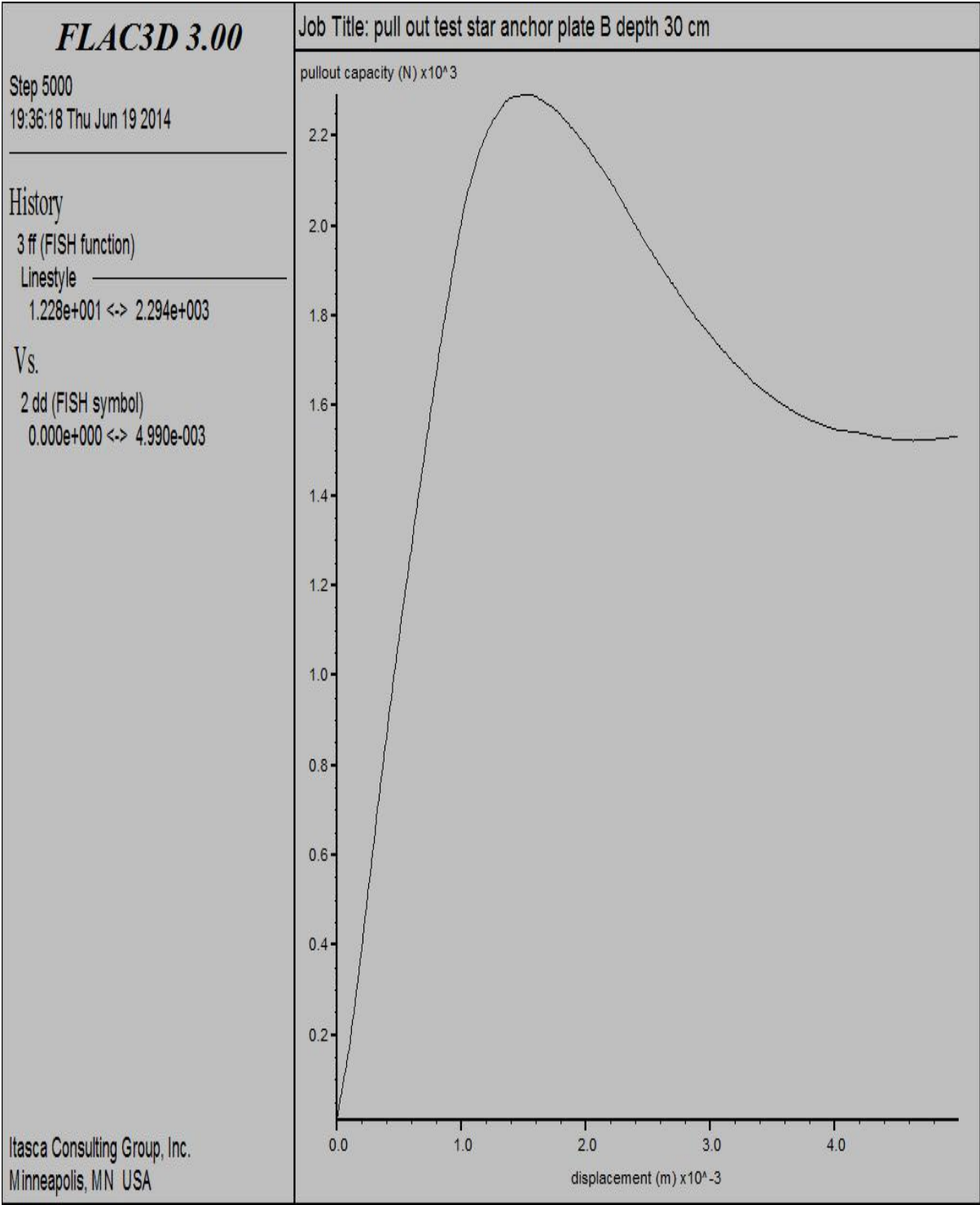
- Birjukumar Mistri dan Baleshwar Singh. 2011. *Pullout Behavior of Plate Anchors in Cohesive Soils*. Journal Vol. 16 [2011], Bund. K Pages 1173-1184.
- Bhardwaj, Sunil. And S. K. Singh. 2013. Pullout Capacity of Model Micropiles under Oblique Loads. *Proceedings of Indian Geotechnical Conference. Roorkee*.
- Christady Hardiyatmo, Hary. 2011. *Analisa dan Perancangan Fondasi I Edisi Kedua*. Yogyakarta. Gadj Mada University Press.
- Das, B. M. 1978. Model Tests for Uplift Capacity of Foundations in Clay. *Soil and Foundations*, 18(2), pp: 17-24.
- Das, B.M. 1998. *Mekanika Tanah*, jilid 2. Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, jilid 1. Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M. 1980. A Procedure for Estimation of Ultimate Capacity of Foundations in Clay. *Soil and Foundations*, 20(1), pp: 77-82.
- Djamaluddin, A. R., Arsyad, A., Maricar, M. I., Muhiddin, A.B., Oemar, I., Samang, L., and Burhan, M. I. 2013. Experimental Study of Pullout Capacity of Stars Plate Anchor. *Proceedings of the 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2013)* Bali, Indonesia, September 24-26.
- Hamed Niroumand, Khairul Anuar Kassim, Amin Ghafooripour, Ramli Nazir. 2012. *Uplift Capacity of Enlarged Base Piles in Sand*. Journal Vol. 17 [2012], Bund. R Pages 2721-2736.
- Itasca. 2005. User's Guide. *Itasca Consulting Group*. Minnesota.
- Meyerhof, G. G. and Adams, J. I. 1968. The Ultimate Uplift Capacity of Foundations. *Canadian Geotechnical Journal*, 24(4), pp: 589-592.
- Merifield, R. S., Lyamin, A. V., Sloan, S. W. & Yu, H. S. 2003. Three-Dimensional Lower Bound Solutions for Stability of Plate Anchors in Clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 129(3), pp: 243-253.
- Merifield, R. S., Lyamin, A. V. and Sloan, S. W. 2005. The Stability of Inclined Plate Anchors in Purely Cohesive Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 131(6), pp: 792-799.

- Rowe, R. K. 1978. Soil Structure Interaction Analysis And Its Application To The Prediction Of Anchor Behavior. PhD thesis, *Univ. of Sydney, Sydney, Australia*.
- S.P. Singha and S.V. Ramaswamyb. 2007. *Effect of shape on holding capacity of plate anchors buried in soft soil*. Geomechanics and Geoengineering: An International Journal Vol. 3, No. 2, June 2008, 157—166.
- Team Penyusun. 2011. *Penuntun Praktikum Laboratorium Mekanika Tanah Edisi ke-8*. Makassar: Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- Vesic, A. S. 1971. Breakout Resistance of Objects Embedded in Ocean Bottom. *Journal of Soil Mechanics and Foundations Div., ASCE*, 97(9), pp: 1183-1205.



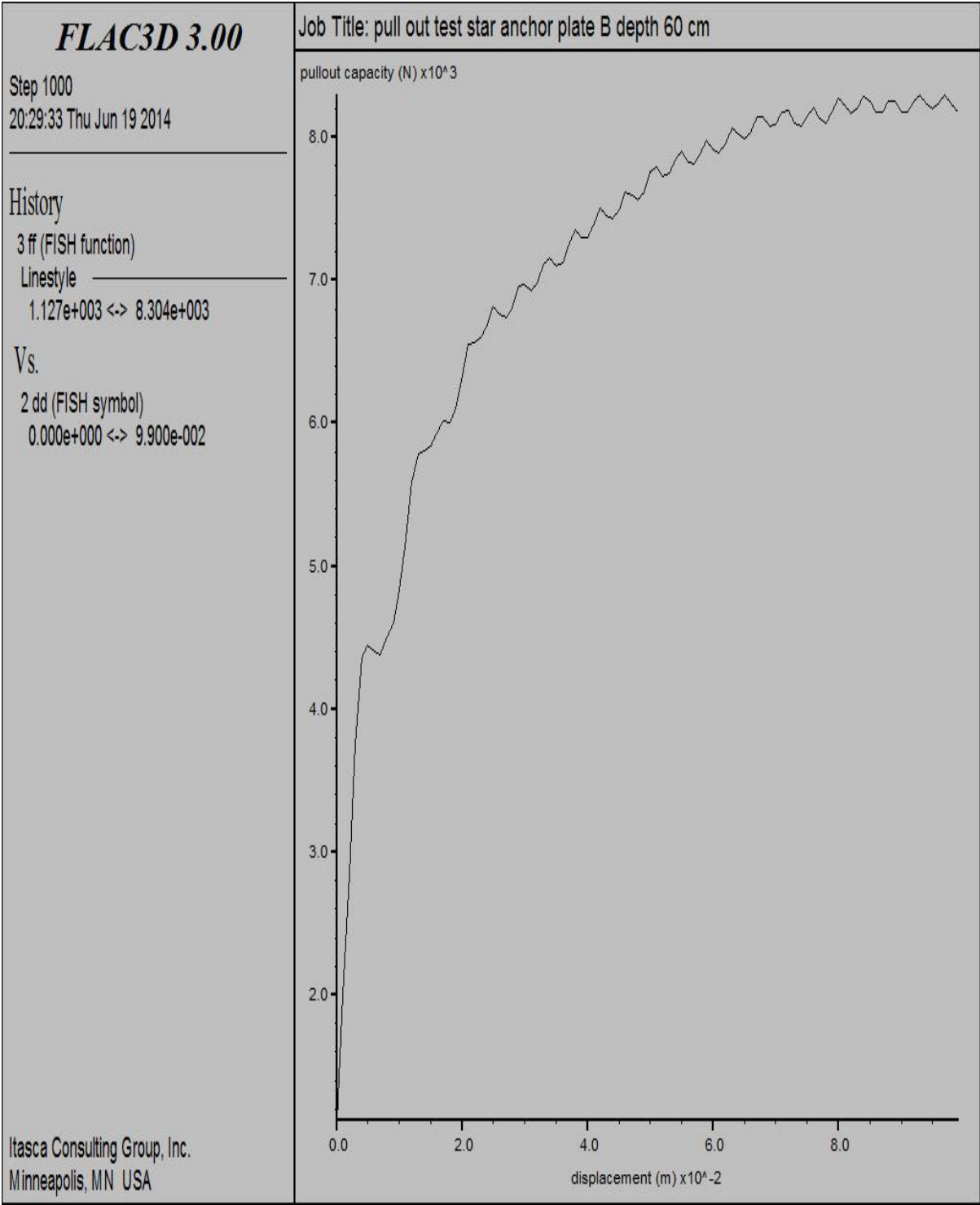
# LAMPIRAN

Kapasitas cabut jangkar pelat bintang pada pembedaman 30 cm dengan metode numerik.





Kapasitas cabut jangkar pelat bintang pada pembenaman 60 cm dengan metode numerik.



**FLAC3D 3.00**

Step 1000  
23:02:55 Thu Jun 19 2014

**History**  
3 ff (FISH function)  
Linestyle  
1.127e+003 <-> 8.678e+003  
Vs.  
2 dd (FISH symbol)  
0.000e+000 <-> 9.900e-002

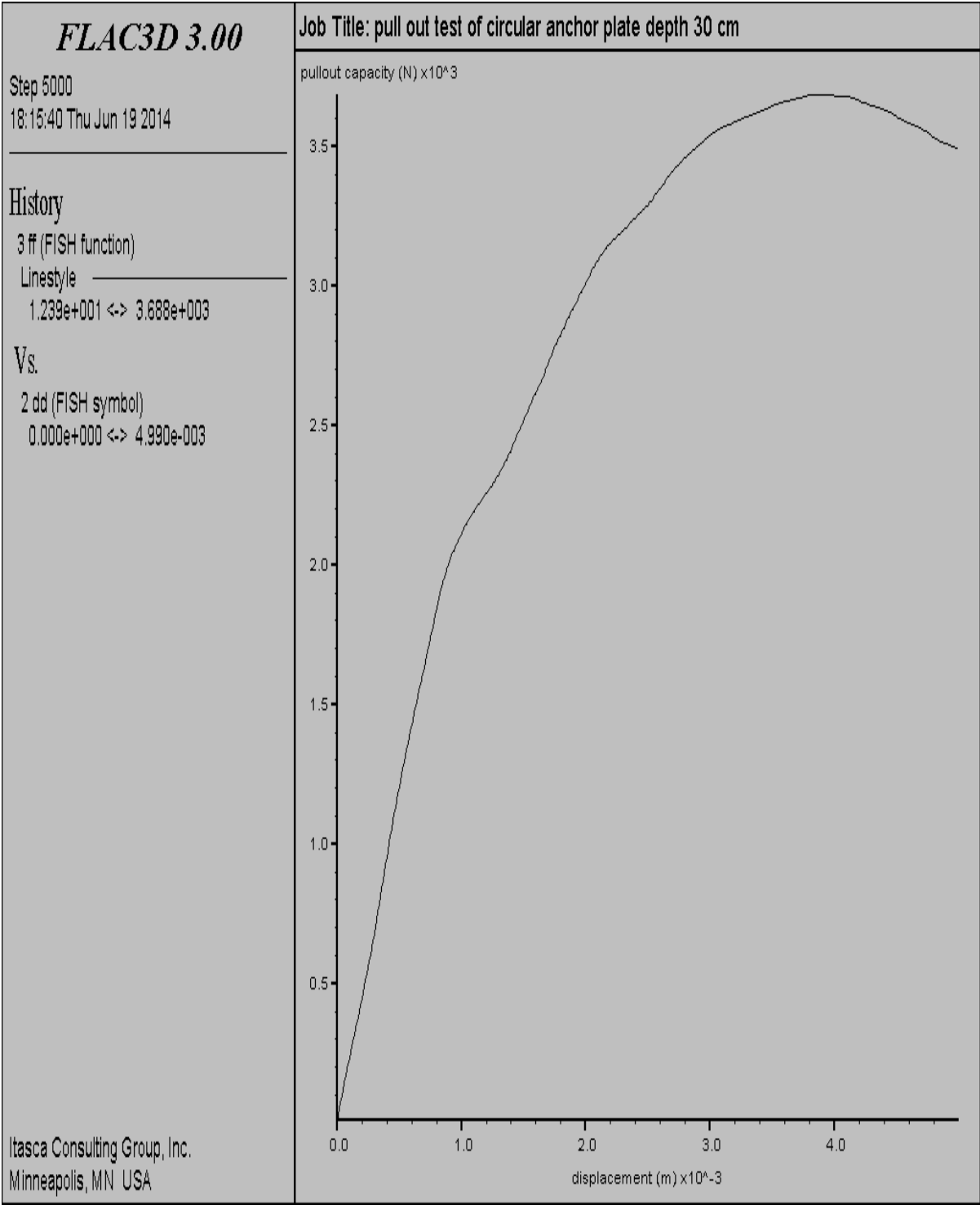
**Job Title: pull out test star anchor plate B depth 90 cm**

The graph displays the relationship between pullout capacity and displacement for a star anchor plate. The y-axis represents pullout capacity in Newtons (N), scaled by  $10^3$ , ranging from 2.0 to 8.0. The x-axis represents displacement in meters (m), scaled by  $10^{-2}$ , ranging from 0.0 to 8.0. The curve starts at the origin (0,0), rises steeply to a peak capacity of approximately 4.4 at a displacement of 0.5. It then exhibits a small local maximum and minimum before rising again to a peak of about 6.0 at a displacement of 1.8. Following this, the capacity continues to increase with some fluctuations, reaching a final value of approximately 8.6 at a displacement of 9.9.

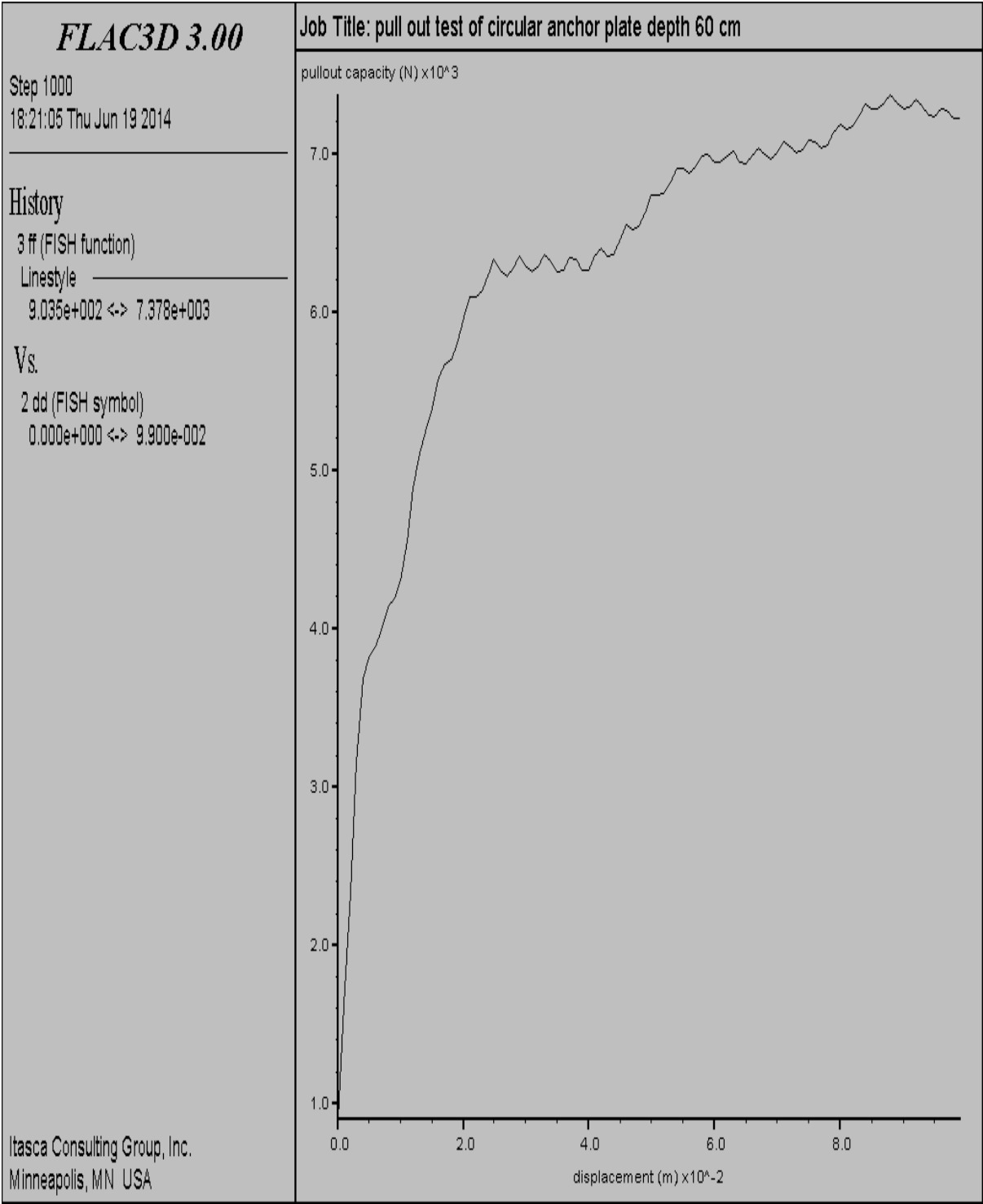
displacement (m) $\times 10^{-2}$	pullout capacity (N) $\times 10^3$
0.0	0.0
0.5	4.4
1.0	5.8
1.8	6.0
2.5	6.8
3.5	7.2
4.5	7.8
5.5	8.2
6.5	8.4
7.5	8.5
8.5	8.6
9.9	8.678

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, MN USA

Kapasitas cabut jangkar pelat lingkaran pada pembedaman 30 cm dengan metode numerik.



Kapasitas cabut jangkar pelat lingkaran pada pembenaman 60 cm dengan metode numerik.



Kapasitas cabut jangkar pelat lingkaran pada pembenaman 90 cm dengan metode numerik.

